



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**TRENDY V BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMECH
ROBOTIZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ**

TRENDS IN SAFETY SYSTEMS OF ROBOTIC WORKPLACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Zagorská

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Kateřina Zagorská**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Trendy v bezpečnostních systémech robotizovaných pracovišť

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešeršní práce zaměřená na současné standardy a trendy v bezpečnostních prvcích a systémech robotizovaných výrobních systémů. Cílem práce je se seznámit se současnou legislativou v dané problematice a jejím naplňování v rámci stavby robotizovaných výrobních systémů. Dále prozkoumat vývojové trendy v bezpečnostních prvcích.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše platné legislativy.

Rešerše bezpečnostních prvků a technologií robotizovaných výrobních systémů.

Rešerše vývojových trendů v bezpečnostních prvcích a technologiích robotizovaných výrobních systémů.

Zhodnocení poznatků

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

ČSN EN ISO 10218. Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty. 1. Praha, 2012.

ČSN EN ISO 10218-2. Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace. 1. Praha, 2012.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku bezpečnosti robotizovaných pracovišť. Cílem bylo seznámit se s platnou legislativou a určitými normami, které jsou potřebné pro vhodnou konstrukci a zacházení se stroji. Dále formou rešerše shrnout bezpečnostní systémy v dnešní době používané a zabírat se bezpečnostními trendy, které by v budoucnu mohly nahradit tyto systémy.

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the issue of safety of robotized workplaces. The aim was to get acquainted with current legislation and certain standards that are needed for the appropriate construction and handling of machines. Furthermore, it summarizes security systems used today in form of a research and deals with security trends that could replace these systems in the future.

KLÍČOVÁ SLOVA

robotizované pracoviště, legislativa, normy, bezpečnostní systémy, bezpečnostní trendy

KEYWORDS

robotized workplace, legislation, standards, security systems, security trends

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZAGORSKÁ, K. *Trendy v bezpečnostních systémech robotizovaných pracovišť*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019, 61 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za cenné rady a vedení při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu během celého bakalářského studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15. 5. 2019

.....
Kateřina Zagorská

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PLATNÁ LEGISLATIVA A BEZPEČNOSTNÍ NORMY	17
2.1	Bezpečnostní požadavky pro robotické systémy	17
2.2	Bezpečnostní normy	18
2.3	Všeobecné zásady	20
2.4	Řešení rizik	20
2.4.1	Analýza rizik	21
3	ROZDĚLENÍ ROBOTIZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ	23
3.1	Podle typu technologie	23
3.2	Podle složitosti robotizovaného systému	24
4	SOUČASNÉ BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY	27
4.1	Rozdělení bezpečnostních prvků	27
4.1.1	Ovladače nouzového zastavení	27
4.1.2	Mechanické oplocení (ochranné kryty)	29
4.1.3	Bezpečnostní snímače a systémy	29
4.1.4	Bezpečnostní světelné závory	30
4.1.5	LASERové skenery	32
4.1.6	Nášlapné rohože (můstky)	33
4.1.7	Bezpečnostní ovládací zařízení	33
4.1.8	Řídící jednotky	34
4.1.9	Sběrnyce	35
5	TRENDY	37
5.1	LBK systém	37
5.2	Bezpečnostní systém SafetyEYE	38
5.3	SafeMove	39
5.4	Projekty	40
5.4.1	ViERforES	40
5.4.2	Sim4Save	40
5.5	Kolaborativní robotika	41
5.5.1	Robot sawyer	42
5.5.2	Dual Check Safety	42
5.5.3	Robot s umělou kůží	43
6	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	45
7	ZÁVĚR	47
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
9	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	55
9.1	Seznam obrázků	55
9.2	Seznam zkratk	55
10	SEZNAM PŘÍLOH	57

1 ÚVOD

Robotizace výrobních hal je v dnešní době velmi rozvojový trend a v budoucnu bude již považováno za nutnou součást každé průmyslové výroby. Ovšem pracovníci jsou a budou potřebnou součástí tohoto procesu také. Aby se předcházelo úrazům na pracovištích vzniklých při kontaktu stroje a pracovníka je potřeba uvažovat určité bezpečnostní opatření.

V této práci je shrnuta dosavadní škála bezpečnostních systémů, které lze registrovat na jakémkoliv stroji nebo robotu. Prvky, jednotky a jiné systémy zmíněné v práci níže musí vyhovovat požadavkům daným v legislativě EU a normám v legislativě se vyskytujících. Normy určují z pravidla veškeré možné konstrukční postupy, podle nichž lze správně obsluhovat stroj s největší bezpečností. Dále také scénáře, které mohou nastat a poskytují uživateli možnosti, jak jim předcházet, jak s nimi zacházet a jak správně obsluhovat daný stroj.

Bezpečnost v reálném čase řeší bezpečnostní systémy přímo na pracovišti, kde je celý prostor robotu zabezpečen množstvím prvků reagujících na různé podněty nebo zabraňující vniknutí do prostoru (například mechanické oplocení, světelné závory, ovladače nouzového zastavení a další). Pro větší kontrolu se většinou užívají kombinace bezpečnostních opatření vzhledem k velikosti prostoru nebo druhu použité technologie. Podle daných potřeb se volí také vhodná a efektivní cesta od bezpečnostního prvku až po řídicí systém robotu zprostředkovaná za pomoci jednodušších relé, programovatelných řídicích jednotek nebo případně sběrnic.

Cestou vyšší efektivity, z důvodů snížení nákladů a zvýšení výroby, a vyšší bezpečnosti se začíná prosazovat trend kamerového snímání velkých prostor, či jiných snímačů zajišťujících velkoplošnou kontrolu objektu. Díky snížení počtu bezpečnostních prvků se také zjednoduší cesta mezi robotem a prvkem. Bezpečnostní systémy nezajišťují jen neprodlené vypnutí robotu, ale reagují na vzdálenost mezi robotem a obsluhou a adekvátně reagují (zpomalují).

Mezi trendy spadá i rychle se rozvíjející odvětví kolaborativní robotiky, kde jsou bezpečnostní systémy zabudovány přímo v robotu nebo je jimi robot „obalen“ z důvodu bezprostřední blízkosti člověka v pracovním prostoru. Jedná se jak o omezení rychlosti, tak o přímou reakci na přiblížení se do pracovní zóny nebo také reakci na dotyk, kterou zajišťuje pryžový obal nebo tzv. „umělá kůže“. I zde se vyvíjí kamerové systémy, buď na robotu, nebo v jeho okolí, které kontrolují jeho prostor. Díky kolaborativní robotice lze posunout výrobu o další úroveň.

2 PLATNÁ LEGISLATIVA A BEZPEČNOSTNÍ NORMY

Americký spisovatel a biochemik Isaac Asimov, v jehož dílech se vyskytují zmínky o robotech, je autorem tří zákonů robotiky. V dílech se často objevuje mnoho obměn těchto zákonů. Zde je uvedeno původní znění: [1]

1. „Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.“
2. „Robot musí uposlechnout příkazy člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.“
3. „Robot musí chránit sám sebe před poškozením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním, nebo druhým zákonem.“ [1]

Zákony pojednávají o robotech jako o živých bytostech schopných chápání a uvědomování si různých skutečností, které si dávají do souvislostí. To však v dnešní době není možné. Robot je sice ovládán člověkem, ale pouze prostřednictvím počítačů. Stále je to neživá hmota neschopná samostatného chápání. Z těchto důvodů je třeba užití jakýchsi bezpečnostních opatření ke kontrole robotu, které zajistí potřebnou úroveň bezpečnosti pro člověka při spolupráci s ním. Aby bylo dodrženo potřebné bezpečnosti, byly vytvořeny normy specifikující zajištění bezpečnosti. [1]

2.1 Bezpečnostní požadavky pro robotické systémy

Z důvodu nebezpečí, které výrobní roboty a robotické systémy mohou představovat, je nutné poskytnout konstruktérovi (výrobci) určité postupy, aby bylo možné dosáhnout adekvátní bezpečnosti na pracovišti. Pro snížení rizika zranění je výrobce nucen dodržovat současnou legislativu s řadou norem. [2]

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES je zásadní směrnice o strojních zařízeních. V ČR je tato směrnice zavedena jako Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení. Tato směrnice je vztahována pro robotické systémy a tím se rozumí: [2]

- Soubor nepoužívající přímo lidskou nebo zvířecí sílu jako pohon, ale je vybaven či bude vybaven poháněcím systémem. Sestava je pohyblivá nebo jen její část je pohyblivá. Pro přesně stanovené použití je třeba vzájemného spojení části nebo součástí.
- Soubor zmíněný v první odrážce, jenž nedisponuje součástmi, které jsou spojovány s místem použití, pohybu, zdroji energie.
- Soubor z první nebo druhé odrážky. Soubor je schopen funkce po případné instalaci až po montáži na určité konstrukce, dopravní prostředky nebo uvnitř budov.
- Soubory uvedené v odrážkách zpětně (neúplná strojní zařízení) jsou uzpůsobena tak, aby fungovala jako integrovaný celek.
- Souborem spojených částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, a tyto části nebo součásti jsou vzájemně spojeny za účelem zvedání břemen. Jejich jediným zdrojem energie je přímo vynaložená lidská síla. [2]

- Soubor částí nebo součástí, které splňují podmínku pohyblivosti (minimálně jedna část pohyblivá) a současně jsou tyto části vzájemně spojeny pro zajištění zdvihu břemene. Obsluha zajišťuje chod souboru jako jediná hnací síla. [2]

Než je strojní zařízení uvedeno na trh nebo do provozu, musí se: [2]

- zajistit, aby byla splněna podmínka bezpečnosti a ochrany zdraví;
- zajistit technickou dokumentaci;
- poskytnout informace potřebné k provozu např.: návod na používání atd.;
- provést kontrolu k posouzení shody na základě daného postupu;
- vypracovat ES prohlášení, zda byla shoda nalezena.

Aby byla technická dokumentace robotického systému platná, má nutnost prokázat jaké požadavky směrnice byly splněny, popřípadě použity. Musí být přeložena do jednoho nebo více úředních jazyků EU. Je nutné, aby technická dokumentace zahrnovala návrh, výrobu a funkci robotického systému. Jsou kladeny požadavky z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví, které udává posouzení o shodě. [2]

Výrobce má povinnost provádět zkoušky a kontroly na částech příslušenství tak, aby mohlo být smontováno a uvedeno do provozu vzhledem k jeho konstrukci a návržení. [2]

Technická dokumentace musí být nejméně ode dne výroby posledního strojního zařízení (popř.: poslední jednotky) po dobu 10 let k dispozici. [2]

Návod k obsluze musí být uveden u každého robotu či robotizovaného systému, a to v úředním jazyce nebo v jazycích Společenství. Příložený návod robotu nebo robotického systému musí být buď původní, nebo překlad tohoto návodu, ke kterému je doložen také originální. [2]

ES Prohlášení o shodě se vztahuje pouze na takové strojní zařízení, které bylo uvedeno na trh ve stejném stavu, v jakém je doposud. Neuplatňuje se v případě později dodávaných součástí, nebo zásahu do zařízení konečným uživatelem. K vypracování tohoto dokumentu se uplatňují stejné podmínky jako pro návody na používání. Dokument musí být zhotoven strojem nebo ručně tiskacími písmeny.

Část údajů, které musí ES Prohlášení o shodě obsahovat:

- obchodní firmu, úplnou adresu výrobce, případně jeho zplnomocněného zástupce;
- jméno a adresu osoby, jež byla pověřena sestavením technické dokumentace, tato osoba musí být členem Společenství;
- popis a identifikaci strojního zařízení, součástí je obecné označení, funkce, model, typ, výrobní číslo a obchodní název;
- větu, ve které je výslovně prohlášeno, že strojní zařízení splňuje všechna ustanovení směrnice;
- místo a datum vydání prohlášení;
- údaje o totožnosti osoby, která je oprávněná zhotovit prohlášení jménem výrobce (nebo jeho zástupce) a jeho podpis. [2]

2.2 Bezpečnostní normy

Z hlediska dodržení bezpečnostních požadavků, za účelem shodnosti s evropskou legislativou, jsou bezpečnostní normy rozděleny na tři kategorie - normy typu A (základní), normy typu B (skupinové) a normy typu C (předmětové). [3]

Pro normy typu A se uplatňují základní pojmy, které jsou vhodné pro většinu strojních zařízení. Bezpečnou konstrukci robota či jiného strojního zařízení popisuje mezinárodní norma ČSN EN ISO 12100 „Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika“. Tato norma uvádí na pravou míru terminologii, zásady a metodologii pro získání co nejvyšší úrovně bezpečnosti při konstrukci strojního zařízení. Také slouží jako pomoc pro konstruktéra správně určit, posoudit a eliminovat rizika. Nalézají se zde kroky pro vyhodnocování rizik, odhady a identifikace nebezpečí u stroje v určitých životních fázích, a pro opatření adekvátně snižující riziko nebo eliminaci nebezpečí. [4]

Normy typu B se zbývají pouze jednou stránkou bezpečnosti (B1 - teplota povrchů, hluk, elektrická bezpečnost strojů, výpočet bezpečné vzdálenosti, požadavky na řídicí systémy) nebo pouze jedním typem bezpečnosti (B2 - dvouruční ovládání, apod.). Například: ČSN EN ISO 13849-1:2008 „Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1; ČSN EN 953+A1:2009 Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů“ (viz Požadavky na ochranné kryty a blokovací zařízení). [2]

Bezpečnostní požadavky, pokyny, zásady návrhu a integraci bezpečnostních systémů a jejich ovládacích částí, i s návrhem software uvádí norma ČSN EN ISO 13849-1:2008 „Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: - Všeobecné zásady pro konstrukci ve znění Opr. 1:2009 a Opr. 2:2014“. Pro vykonávání bezpečnostních funkcí je třeba charakteristik specifikovaných normou, které zahrnují požadovanou úroveň vlastností vzhledem k bezpečnosti. Norma se uplatňuje i pro vysoký požadavek a nepřetržitost režimu, bez ohledu na typ technologického postupu a druh energie (např.: hydraulické, elektrické, pneumatické, atd.) a pro druhy všech typů strojních zařízení. K této normě se díky obsáhlosti a složitosti robotického systému pojí také další normy jako například: EN 60204-1 ed.2 „Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky“, ČSN EN 62061:2005 „Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností“. Tyto normy se vztahují k široké škále strojních systémů. [2] [5]

Normy typu C jsou určeny pro daný typ robotů nebo robotickým systémům a specifikují detailní bezpečnostní požadavky. [2]

Požadavky na bezpečnost jsou obsaženy v ČSN EN ISO 10218-1:2012 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost robotů – část 1: Roboty. Tato část určuje požadavky pro základní bezpečnou konstrukci, užití bezpečnostních prvků a informací potřebných ke správnému užití průmyslových robotů. Poučuje obsluhu o bezpečnosti a snaží se snižovat rizika a nebezpečí s obsluhou robota spojená. S robotem jako kompletním celkem zachází část normy ISO 10218, která platí pouze pro průmyslové roboty. [6]

ČSN EN ISO 10218-2:2011 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace. Zabývá se integrací robotů a robotizovaných systémů s ohledem na bezpečnost a bezpečnostní požadavky obsluhy. Integrace se skládá z konstrukce, údržby, výroby, vyřazení z provozu a informací, pro dané technologické postupy. Popisuje se zde možné nebezpečí či nebezpečné situace, které mohou nastat a udává potřebné požadavky na omezení nebo úplné zamezení rizika.

Vztahuje se na průmyslové roboty a robotizované systémy jako na části integrovaného výrobního systému. [7]

2.3 Všeobecné zásady

Jedná se o jisté doplnění norem, uvedených výše, vzhledem k bezpečnostním prvkům, jejich požadavkům na správnou konstrukci a obsluhu. Spadají zde například požadavky na osvětlení, na tepelné prostředí, na akustické podmínky a další. Pro problematiku bezpečnosti robotických pracovišť budou vybrány pouze některé z těchto požadavků. [2]

- Požadavky na ochranné kryty a blokovací zařízení – v případě zajištění bezpečnosti pomocí ochranných krytů a blokovacích zařízení je třeba pro jejich správnou konstrukci, vymezení vhodné vzdálenosti a určení dalších parametrů použít normy k tomu určené. Tyto požadavky spolu s podrobnosti jsou uvedeny v normách ČSN EN 953+A1:2009 „Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů“, která byla nahrazena normou ČSN EN ISO 14120 „Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů“ a pojednává o správném návrhu na konstrukci a volbě ochranných krytů určených pro ochranu osob před mechanickým nebezpečím. Dále jsou zde normy ČSN EN ISO 13855:2010 „Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla“ a ČSN EN 60204-1 ed. 2:2007 „Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky“. [2] [8]
- Požadavky na ochranná zařízení – za ochranná zařízení se považují například zařízení citlivá na tlak, snímací ochranná zařízení, nebo manuální prvky (jak jednoruční, tak obouruční). Při vzniku nebezpečného stavu je potřeba pomocí ochranných zařízení zajistit bezpečnost obsluhy. Požadavky na správnou konstrukci a správný chod ochranných zařízení zajišťují případné normy ČSN EN 61496-1 ed. 2:2005 „Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická snímací ochranná zařízení – Část 1 Všeobecné požadavky a zkoušky“, ČSN EN ISO 13856 – 1:2013 a 2:2013 „Bezpečnost strojních zařízení – Ochranná zařízení citlivá na tlak“ a ČSN EN 574+A1:2008 „Bezpečnost strojních zařízení – Dvouruční ovládací zařízení – Funkční hlediska – Zásady pro konstrukci“. [2]

2.4 Řešení rizik

K upřesnění zásad, posouzení a snížení rizik slouží již zmíněná norma ČSN EN ISO 12100 „Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika“. Zásady jsou stavěny na znalostech a zkušenostech z konstrukce, nehod, úrazů a rizik v blízkosti strojních zařízení. [4] [9]

Pokud je možnost výskytu rizika je třeba ke kontrole využít základního vzorce pro odhad a jeho posouzení podle zmíněné normy. [4] [9]

$$\text{riziko} = \text{rozsah škod} * \text{pravděpodobnost výskytu} \quad (1)$$

Pro posouzení rizika je třeba stanovit funkce stroje jako například: [9]

- místo instalace robotu, limity v prostoru;
- maximální výkon, předpokládaný materiál, který bude užit;
- životnost;
- předpokládané selhání a poruchy;
- obsluha;
- atd.

Při vývoji nového robotu či robotického systému je výrobce povinen dbát na rozpoznání všech nebezpečí, která mohou být vytvořena tímto zařízením. Pro konstruktéra jsou uváděny možná předvídatelná rizika, rizikové situace a události, aby byl poučen o možnostech, které mohou nastat a předcházet jim. Příkladem mohou být: [2] [9]

- mechanická nebezpečí (stlačení, stříh, pořezání nebo utržení, navinutí, vtažení nebo zachycení, náraz apod.);
- elektrická nebezpečí (dotyk osob a „živých“ částí, dotykem osob s částmi, které se staly „živými“ díky poruše, nebezpečná vzdálenost osob od „živých“ částí, elektrostatické jevy, tepelné záření apod.);
- termická (tepelná) nebezpečí (horké/studené povrchy nebo předměty spojené s koncovým efektem nebo zpracovávaným materiálem, výbušná atmosféra, extrémní teploty daných výrobních procesů, hořlavé materiály);
- nebezpečí v důsledku hluku (ztráta sluchu, hučení v uších, stres, únava, odvádění pozornosti apod.);
- ohrožení v důsledku kmitání (přímý kontakt se zdrojem vibrací apod.);
- ohrožení zářením (ultrafialové záření, infračervené záření, lasery, záření alfa, beta, gama, RTG);
- nebezpečí v důsledku uklouznutí, zakopnutí, pádu;
- nebezpečí v souvislosti s okolím instalace stroje;
- ohrožení způsobené kombinací výše uvedených rizik.

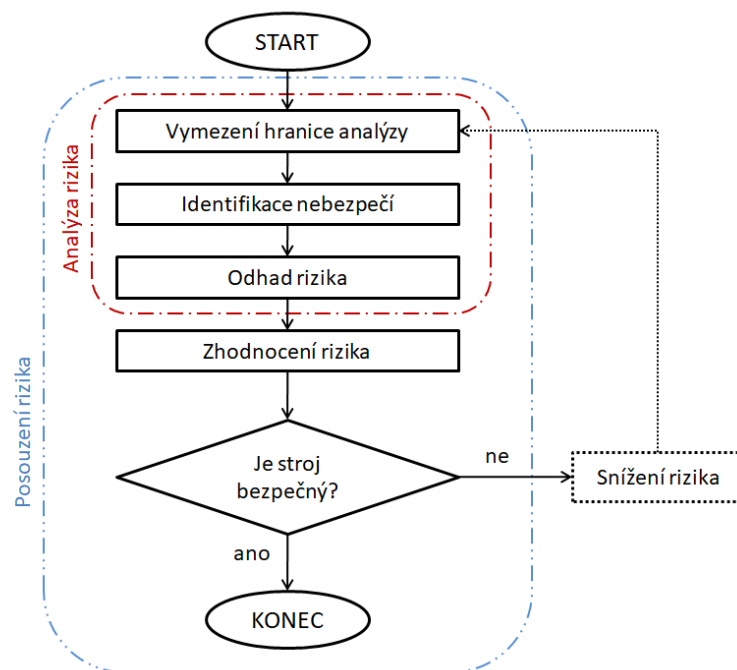
V případě výskytu rizika je výrobce povinen snížit riziko pomocí třístupňové iterační metody („tři kroků“) a principů, které zde patří: [2] [9]

- bezpečný návrh – při konstrukci stroje dbát na eliminaci a odstranění rizik;
- technická opatření – zavedení ochranných opatření tak, aby nebylo možné je konstrukčně odstranit (ovladače nouzového zastavení apod.);
- informace pro uživatele – o riziku, která ještě mohou nastat.

2.4.1 Analýza rizik

Zabývá se určováním rizik, a zda jsou tolerované u dané činnosti nebo nikoliv. Součástí je identifikace rizik/nebezpečí, sestavení seznamu scénářů rizik (nehod, činností, procesů atd.), odhad počtu jejich výskytů a možnosti následných scénářů, dále také možné ohodnocování rizika a vyhodnocení vzhledem k určeným kritériím. [2] [9]

Veškerá rizika musí být neustále kontrolována u každého zařízení a výrobku. Postupu posouzení rizika je znázorněn za pomoci schématu (viz obr. 1) podle normy ČSN EN ISO 12100. [2]



Obr. 1) postup posouzení rizika [2]

Toto byl vybraný souhrn norem potřebný k nutnému uvedení do problematiky bezpečnosti robotizovaných pracovišť. Avšak v praxi je značné množství norem potřebných pro správnou konstrukci a obsluhu strojů a strojních systémů, které jsou dopodrobna rozebírány. Všechny tyto normy jsou vztaženy k legislativě v rámci Evropské unie a České republiky. Pro jiné státy jako je například USA nebo Rusko platí jejich vlastní specifické normy. Výběr norem těchto a dalších států je dostupný v příloze.

3 ROZDĚLENÍ ROBOTIZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ

Každé robotizované pracoviště má své konkrétní požadavky, jak z pohledu zvolené technologie, tak z velikosti pracovního prostoru. Proto se dají pracoviště dělit podle složitosti zapojení bezpečnostních systémů, což je určeno podle velikosti pracovního prostoru a také podle používané technologie robotu.

3.1 Podle typu technologie

Podle typu technologie lze roboty dělit na: [10]

- manipulační roboty;
- svařovací roboty;
- lakovací roboty;
- montážní roboty;
- roboty pro řezací operace (laserem, plasmou);
- měřicí roboty;
- roboty pro tlakové lití.

Velmi častým typem jsou manipulační roboty s funkcí výměny nástrojů, obrobků, balení materiálu či přemísťování materiálu, které se uplatňují i v odvětví kolaborativní robotiky. Tyto roboty jsou konstruovány v souladu s normou ČSN EN ISO 9946 „Manipulační průmyslové roboty – Uvádění charakteristických vlastností“ a jejich bezpečnost je řešena podle platných norem zmíněných výše. [11]

Svařovací robotizovaná pracoviště mohou být jako samostatné buňky pro malosériovou výrobu, kde jsou vkládány a odebírány svařence, za pomoci otočného stolu, obsluhou, nebo jsou konstruovány pro velkosériovou výrobu, kde je poskládáno větší množství svařovacích robotů za sebou (např. závody automobilek). Pokud se jedná o buňku, bezpečnost zajišťuje oplocení, které může být nahrazeno světlu nepropustnými stěnami nebo uzavřenou svařovací kabinou. Doplnujícími prvky mohou být světelné závory a ovladače nouzového zastavení. Obsluha má k dispozici ovládací panel, kterým řídí příjem a výdej výrobku. Jde-li o robotizovanou linku je bezpečnost zajištěna dostatečnou vzdáleností obsluhy od robotů, oplocením, světelnými závorami a dalšími klasickými prvky. [12] [13]

Pro roboty s laserovými nebo plazmovými aplikacemi se využívají bezpečnostní kabiny, do které je vestavěn robot s celým pracovním prostorem, aby bylo zabráněno jakémukoliv kontaktu robotu s obsluhou. [14]

Řešení bezpečnosti svařovacích robotů, robotů s laserovými aplikacemi, či robotů s možností vzniku záření při práci spadá pod normu ČSN EN 12198 „Bezpečnost strojních zařízení – Posuzování a snižování rizik vznikajících zářením emitovaným strojními zařízeními“. [15]

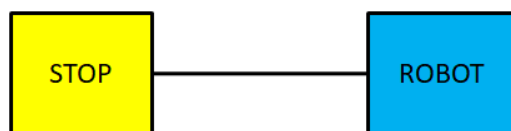
V případě lakování součástí se z důvodu nebezpečných zplodin, které se během tohoto procesu mohou vytvářet, byla lidská práce nahrazena lakovacími roboty. Bezpečnost je řešena podobně jako u kolaborativních robotů. [16] [17]

V praxi se kombinací svařovacích, montážních, manipulačních a lakovacích robotů tvoří celé linky s úkony pro jednotlivé typy. Linky jsou zpravidla zabezpečeny pomocí kombinací většího počtu klasických bezpečnostních prvků jako jsou oplocení, světelné závory, ovladače nouzového zastavení a dalších.

3.2 Podle složitosti robotizovaného systému

Typ bezpečnostních systémů a jejich zapojení může určovat výrobce, nebo je možné zapojovat bezpečnostní jednotky a prvky podle potřeby daného pracovního prostoru (podle velikosti robotické buňky/linky a použité technologie).

V jednoduchých robotických buňkách mohou být bezpečnostní prvky napojeny přímo na řídicí systém robotu, (viz obr. 2), nebo řízeny neprogramovatelnými řídicími jednotkami – relé, které mohou být připojeny pouze k jednomu bezpečnostnímu prvku, (viz obr. 3). Pokud například dojde ke spuštění ovladače nouzového zastavení, sepne se obvod a řídicí jednotka (relé) vyšle signál do robotu. [18]

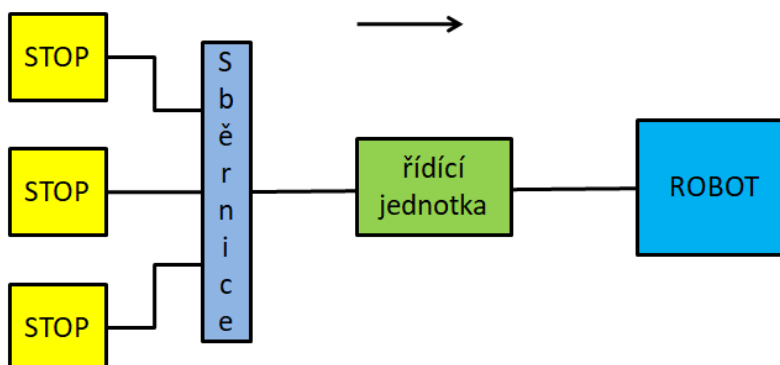


Obr. 2) Schéma zapojení 1



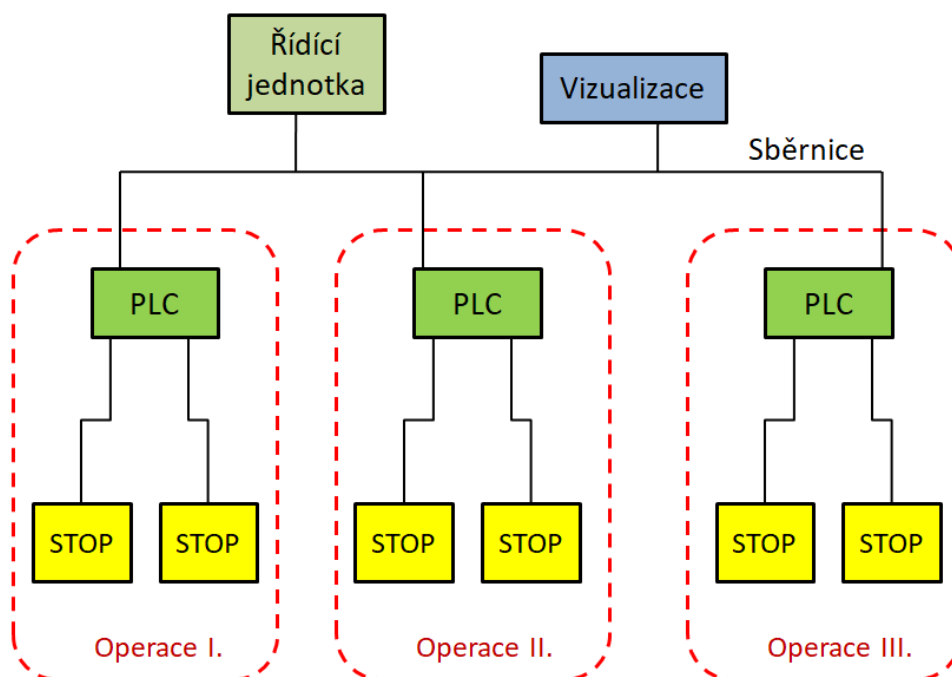
Obr. 3) Schéma zapojení 2

Složitější buňky jsou propojeny pomocí sběrnového systému, do kterého mohou spadat další řídicí jednotky podle složitosti daného pracoviště, (viz obr. 4). Při spuštění jednoho nebo více bezpečnostních prvků signál prochází přes sběrnový systém, který usměrňuje informaci putující do robotu. [19]



Obr. 4) Schéma zapojení 3

V případě robotických linek (viz obr. 5) se bezpečnostní obvody řeší pomocí většího počtu jednoduchých řídicích jednotek (PLC) připojených na centrální sběrnici, která v případě nebezpečí vysílá signál hlavní řídicí jednotce a dochází k odstavení celé výrobní linky. Hlavní jednotkou může být výkonnější programovatelná jednotka PL(c-e) se zakomponovanou řídicí i bezpečnostní funkcí, ty jsou navzájem propojeny. Ke sběrnici je možné připojit vizualizační prvek například tablet nebo monitor, který informuje obsluhu o stavu celé linky nebo jejích částí.



Obr. 5) Schéma zapojení 4: bezpečnostní zapojení linky

Pro robotickou buňku lze využít podobného principu (viz obr. 5). Rozdílem bude samostatnost každé operace. Pokud dojde k zastavení jedné operace, řídicí jednotka odstaví pouze příslušnou buňku.

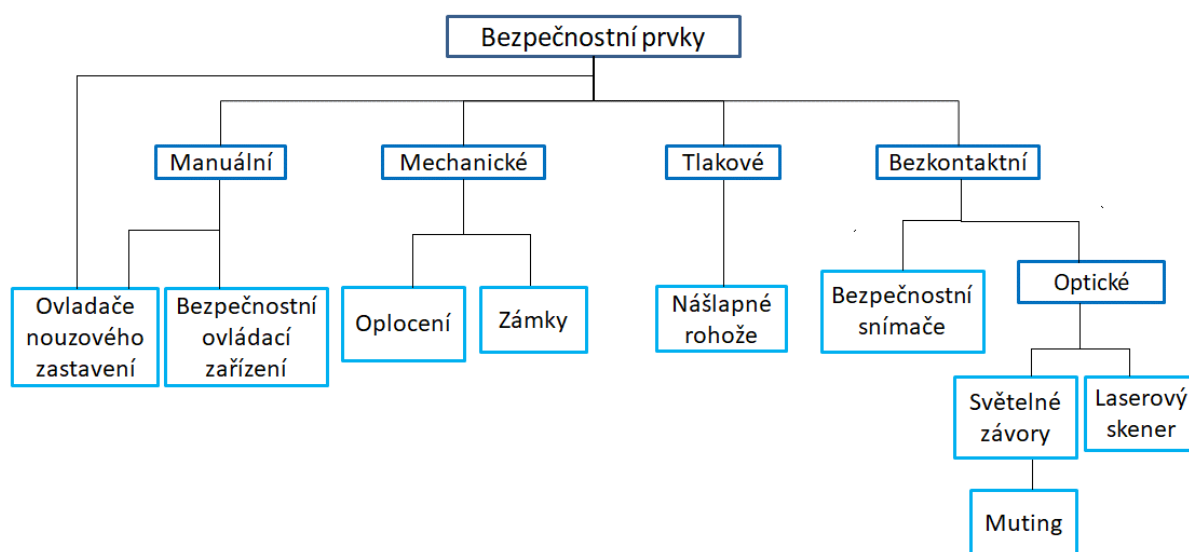
Dnes se řídicí jednotky a sběrnice v bezpečnostních obvodech u robotických buněk moc nekombinují. Hlavními jednotkami jsou buď programovatelné jednotky PL, které mají pod kontrolou celý bezpečnostní obvod s dalšími komponenty, nebo sběrnice se zabudovanými aktivními moduly, které není třeba dále propojovat s jinými komponenty.

4 SOUČASNÉ BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY

V současné době je zajištění bezpečnosti nejdůležitější částí každých výrobních systémů, strojů a robotů. Cílem je zamezení kontaktu jakékoliv lidské části obsluhy se strojem v provozním stavu. Aby bylo dosaženo určité úrovně bezpečnosti, jež požaduje platná legislativa, je třeba využít bezpečnostních prvků a jednotek, které jsou zmíněny v dalších kapitolách. [20]

4.1 Rozdělení bezpečnostních prvků

Bezpečnostní prvky je možno dělit podle dané vlastnosti, funkce a úrovně důležitosti. Jako nejběžnější se považují mechanické prvky – oplocení a mechanické druhy zámek. Do další skupiny spadají prvky s tlakovými detektory, které se využívají u nášlapných rohoží nebo můstků. Rozsáhlou skupinou jsou bezkontaktní prvky. Lze zde přiřadit optické závory a laserové skenery, které fungují na principu snímání objektů pomocí optického, magnetického, elektrostatického pole nebo pomocí paprsků. Další důležitou skupinou jsou manuální prvky, což jsou například ovladače nouzového zastavení (zpravidla nadřazené nad všechny bezpečnostní prvky) nebo také bezpečnostní ovládací zařízení. Tyto prvky může obsluha ovládat manuálně. [21]



Obr. 6) Rozdělení bezpečnostních prvků

4.1.1 Ovladače nouzového zastavení

Tato zařízení by měla být nadřazená nad všemi ostatními funkcemi, chody a činnostmi stroje, splňovat funkčnost a použitelnost v případě nouze. Při spuštění dochází k úplnému zastavení činnosti stroje a zmrazení na místě, ve kterém bylo nouzové zastavení spuštěno, bez porušení zařízení nebo jeho části. Současně je blokován jakýkoliv povel pro znovuspuštění stroje či zařízení do doby restartování nouzového zastavení (opětovné nastavení). [22]

Funkce nouzového zastavení zpravidla slouží jako doplněk bezpečnostního systému a nelze ho použít jako jediný bezpečnostní prvek nebo jako náhradu bezpečnostních prvků. [22]

Podle kategorií lze ovladače nouzového zastavení dělit na: [22]

- kategorie zastavení 0
 - přímé vypnutí energie;
 - mechanické rozpojení za pomoci spojky mezi ohrožujícími prvky a strojním pohonem;
- kategorie zastavení 1 - vypnutí energie nastává až po zastavení strojních pohonů.

Ovladače jsou navrženy tak, aby byla manipulace s nimi pro obsluhu jednoduchá a lehce přístupná. V praxi se nalézají různé druhy ovladačů např.: hříbová tlačítka (viz obr. 7), dráty, lanka, tyče, páky atd. Zařízení musí být umístěna na všech ovládacích místech obsluhy, pokud není nařízeno jinak. Elektrická zařízení nouzového zastavení jsou nucena odpovídat IEC 60947-5-5. U těchto ovladačů se užívá princip přímého nuceného vypínání s využitím mechanického zajištění západkou. [22]

Značení je specifické svou barvou, kde pozadí ovladače (pokud se u ovladače vyskytuje) musí být zpravidla žluté, ovladač červený. Pokud se u zařízení vyskytují i dráty nebo lanka jsou označeny vlaječkou. [22]

Při použití drátů nebo lanek jako ovladače nouzového zastavení, je třeba, aby byly snadno přístupné, snadno použitelné a splňovaly určité podmínky. Proto musí být uváženo: [22]

- velikost prohnutí potřebné k vyhodnocení povelu nouzového zastavení;
- maximální dovolené prohnutí;
- nejmenší vzdálenost lanka nebo drátu od nejbližšího předmětu;
- zviditelnění drátu nebo lanek pro obsluhu (např. použití značkovacích vlaječek);
- síla potřebná ke spuštění nouzového zastavení lanka či drátu a její směr působení.



Obr. 7) ovladače nouzového zastavení a reset od firmy Murrelektronik [23]

4.1.2 Mechanické oplocení (ochranné kryty)

Jako nejpoužívanější a jednoduchá ochrana robotické buňky před vstupem nepovolaných osob se často užívá bezpečnostní oplocení, jako funkce pevné zábrany (viz obr. 8). Toto bezpečnostní oplocení se užívá v případě uceleného pracovního procesu, který robot vykonává. Materiál se vkládá před spuštěním robotu nebo za pomoci mechanického podávacího zařízení (např. otočného stolu) v průběhu procesu. Nebezpečný prostor musí být po celou dobu práce uzavřený a zajištěný. Oplocení je vybaveno dveřmi, které umožňují obsluhu vstup do ohraničeného prostoru v případě potřeby (poruchy, kontroly stroje apod.). [24] [25]

Požadavky na výběr oplocení/krytu je třeba vztahovat vůči normě ČSN EN ISO 12100, kde je brán ohled na životnost stroje. [25]

Důležité body splňující kritéria: [25]

- definování pravděpodobnosti zranění za pomoci posouzení rizika;
- k čemu je stroj využíván vzhledem k dodržení ČSN EN ISO 12100;
- nebezpečí, které může stroj představovat;
- množství a umístění přístupů do prostoru.

Pokud je třeba zajistit bezpečnost obsluhy před několika druhy nebezpečí, musí ochranné kryty splňovat bezpečnostní náležitosti pro každý možný případ ohrožení. [25]



Obr. 8) Ochranné oplocení [26]

4.1.3 Bezpečnostní snímače a systémy

Dveře oplocení jsou obvykle zabezpečeny blokovacími systémy, které slouží k neprodlenému zastavení procesu uvnitř ohraničeného prostoru, v případě výskytu nebezpečí. Možností je také zamykací funkce, která brání otevření dveří. Jsou vybaveny zámkem pro zamezení nechtěného uzavření v nebezpečné zóně a s možností otevření zevnitř prostoru v případě nouze. [18] [27]

Další skupina, která zde patří, jsou bezpečnostní zámky (viz obr. 9). Ty slouží jako mechanicky uzamykatelný systém, který znemožňuje přístup nepovolaným osobám. [27]

Zámky se dělí na procesní nebo bezpečnostní, podle využití. Zámky chránící proces výroby jsou procesní. Jako příklad může být zámek na dveřích zajišťující obsluhu přístup do

prostoru s krátkou dobou zastavení. Bezpečnostní zámek slouží k ochraně osob a dovoluje obsluhu přístup ke stroji s delší dobou zastavení. [18]

Novějším modelem v této oblasti jsou bezkontaktní bezpečnostní spínače (viz obr. 10), které nahrazují mechanické zámky. Spínače slouží nejen k zabezpečení dveří, ale i k zabezpečení otvorů ve strojích. Jsou složeny ze dvou částí, a to spínače (může být magnetický nebo RIFT tag) a přijímače. Spínače jsou aktivovány v okamžiku bezprostřední blízkosti obou částí. [28]



Obr. 9) Mechanický zámek [27]



Obr. 10) Bezkontaktní bezpečnostní snímač [28]

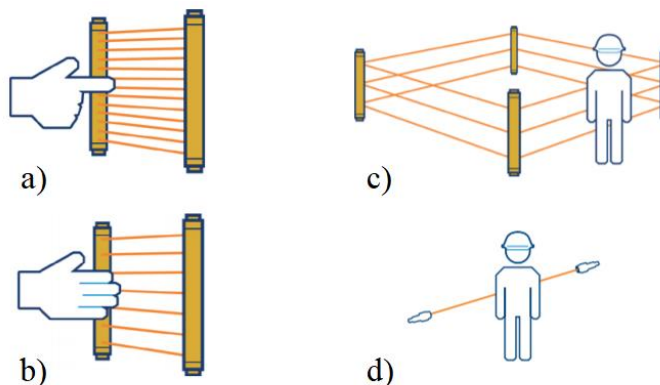
4.1.4 Bezpečnostní světelné závory

Z hlediska prodloužení životnosti se před mechanickými prvky uplatňují elektrické prvky (bezkontaktní). Světelné závory zajišťují prostor, u kterého je znemožněna instalace mechanických bezpečnostních prvků. Využívají se v případech, kde je zapotřebí do nebezpečného prostoru dodávat či naopak odebírat materiál nebo produkty. Další případy jsou vyhrazeny obsluze strojů, jejichž přístup do nebezpečného prostoru se vyžaduje nebo očekává. Využívají se především ve velkých průmyslových robotických pracovištích. [29]

Tyto ochranné prvky jsou v praxi jako víceprásková (multipaprsková) bezpečnostní optická elektrozařízení ve formě optické stěny. Pokud je alespoň jeden paprsek tvořící optickou stěnu přerušena, dochází k vyslání vypínacího signálu do řídicího systému robotu (stroje). Funkce je založena na přestupu signálu mezi vysílačem a přijímačem. [29] [30]

Světelné závory lze dělit do čtyř kategorií (viz obr. 11). [18]

- a) detekce prstu – vzdálenost paprsků je cca 15 mm;
- b) detekce ruky – vzdálenost paprsků je cca 30 mm;
- c) detekce těla – vzdálenost paprsků určena tak, aby bylo detekováno celé tělo;
- d) detekce těla jedním paprskem – často kombinován s dalšími bezpečnostními prvky.



Obr. 11) kategorie bezpečnostních světelných závor [18]

Instalace této technologie musí být v souladu s normou ČSN EN ISO 13855: Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla. Za bezpečnou vzdálenost, se považuje vzdálenost, kde je pohyb stroje zastaven dříve než se stačí jakákoliv část lidské obsluhy dostat do nebezpečného prostoru. Dle uvedené normy se uvádí základní výpočet bezpečné vzdálenosti:

$$S = (K * T) + C \quad (2)$$

kde: S je nejmenší bezpečná vzdálenost

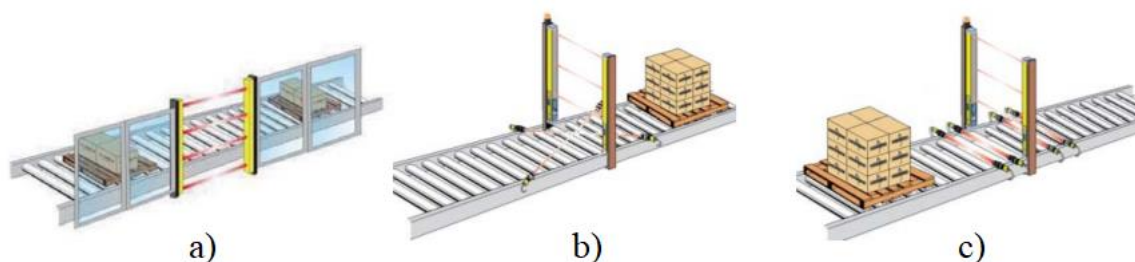
K je přístupová rychlost lidského těla (1600 nebo 2000 mm/s)

T je čas zastavení celého systému zařízení

C je dodatečná vzdálenost daná rozlišením světelného ochranného zařízení a dalších okolností (hodnota 0 až 1200 mm) [29]

Muting

Pojem muting se uplatňuje v případě automatických strojů na linkách. Používá se například u dopravníků, kde je zapotřebí rozlišit projíždějící materiál a lidskou obsluhu. Muting zajišťuje dočasné odpojení světelné závory v případě projíždějícího materiálu a opětovné zapnutí světelné závory pro zajištění bezpečnosti procházející obsluhy (viz obr. 12). [31]



Obr. 12) a) přístupová kontrola; b) muting s dvěma zkříženými paprsky;
c) muting se čtyřmi paralelními paprsky [32]

4.1.5 LASERové skenery

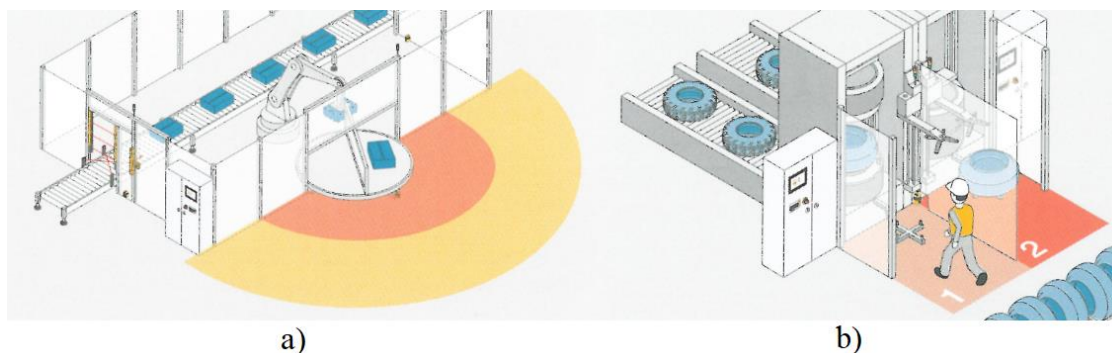
Funkce laserového skeneru spočívá v rozpoznání přítomnosti obsluhy v chráněném prostoru. Obvykle se umísťuje 30 cm nad podlahou. [2]

Princip je založen na záření paprsku v prostoru. Z fotodiody vychází infračervený paprsek, který prochází optickou soustavou, za níž je umístěno otočné zrcadlo, na které paprsek dopadá. Dochází k vychýlení paprsku a vzniká vymezená hlídaná detekční zóna tvarovaná do kruhové výseče (nebo dle požadavků). Prostorem se šířící paprsek se při naražení do osob či objektů odrazí zpět do skeneru a skener vyhodnotí nebezpečí. [2] [33]

Lze uplatnit dvě aplikace skeneru (viz obr. 13): [2]

- a) Skener s možností naprogramování pro dva sektory. První sektor obsluhu pouze upozorní výstražným signálem, při vstupu do druhého sektoru dochází k zastavení robota.
- b) Střídavé kontrolování prostoru; skener je naprogramován tak, aby střídavě kontroloval jeden nebo druhý sektor.

Skenery se dají programovat na různé rozměry daných sektorů, jsou také definovány úhly dosahu skeneru, které jsou dány výrobcem. Příkladem jsou bezpečnostní laserové skenery značky PILZ a SICK se sledovacím úhlem 275° (viz obr. 14). [33] [34]



Obr. 13) aplikace skeneru [34]



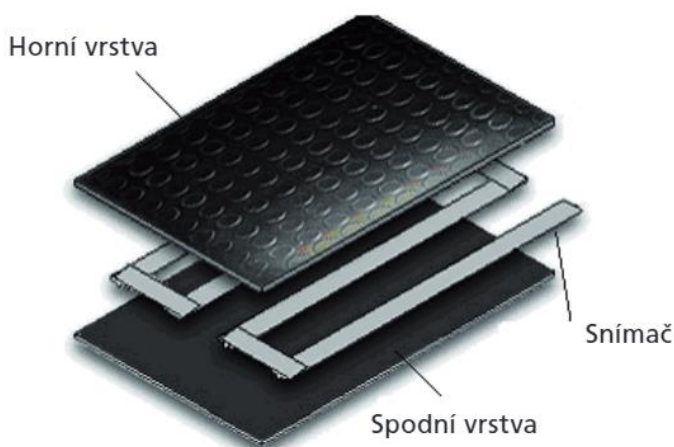
Obr. 14) laserové skenery značky SICK [35]

4.1.6 Nášlapné rohože (můstky)

Dalšími typy mechanických bezpečnostních prvků a systémů jsou nášlapné rohože (viz obr. 15). Mohou být užívány, buď jako doplňující prvek celkového zabezpečení, nebo jich lze využít na místech, která jsou pro ostatní bezpečnostní prvky špatně dosažitelná či nevhodná. Je nutné dodržovat jejich předepsanou polohu pro dosažení maximální bezpečnosti. [36]

Nášlapné rohože se obvykle skládají ze dvou podstatných částí – spínače, jenž je zabudovaný uvnitř rohože a zajišťuje detekci pohybu a bezpečnostního řídicího modulu. Tyto prvky jsou navzájem propojeny. Za normálního stavu je spínač rozpojen, ke spojení dochází při vzniklém tlaku na rohoži tzn. nastane vodivé spojení vodičů. Signál vzniklý při sepnutí spínače odchází do řídicího modulu, z něhož vychází STOP povel do řídicího systému stroje. Povel má za následek okamžité zastavení stroje. [36]

Na trhu jsou k dostání v libovolném tvaru a velikosti vzhledem k potřebě. [36]



Obr. 15) Nášlapný můstek [36]

4.1.7 Bezpečnostní ovládací zařízení

Pokud je třeba aktivně manipulovat s materiálem nebo jinak zasahovat do výroby jsou bezpečnostní ovladače nutnou součástí. Prostřednictvím ovladačů obsluha řídí nebezpečné pohyby stroje, jako je zastavení nebo spuštění. [37]

Ovladače jsou rozděleny dle bezpečnosti na tři typy. Prvním typem je jednoruční ovladač, který se používá u aplikací, při kterých nedochází k blízkému kontaktu stroje s obsluhou. Druhý typ ovladače se uplatňuje v případě ručního vkládání nebo výměně výrobků obsluhou, kde je při spuštění stroje zajištěno současné stlačení tlačítek obouručně. V důsledku toho jsou ruce mimo nebezpečnou zónu při spuštění nebezpečného pohybu. Posledním typem je třípolohový ovladač „hold to run“. Využívá se v případě odstraňování závad, programování nebo provádění testů, při kterém musí být obsluha v nebezpečném prostoru. V tomto případě stroj pracuje v omezených rychlostech. [18]



Obr. 16) bezpečnostní ovládací zařízení jednoruční, obouruční [37]

4.1.8 Řídící jednotky

Bezpečnostní snímače a prvky zmíněné v předešlých kapitolách se napojují na tzv. řídicí jednotky zajišťující bezpečnost stroje. Dochází k vyhodnocování stavu bezpečnostních prvků, a při nebezpečí zajišťují vypnutí stroje prostřednictvím signálu. Řídící jednotky se dělí na několik typů. [38]

Prvním typem jsou **neprogramovatelné jednotky** (bezpečnostní relé), které fungují na principu spínání a rozepínání obvodu (viz obr. 17). Funkce vstupů a výstupů je udávána přímo prodejcem a nelze dále funkce měnit. Využívají se u jednodušších robotizovaných pracovišť, na kterých není potřeba velkého množství bezpečnostních prvků, nebo se dají různě kombinovat u složitějších aplikací. Pokud je zapotřebí použít více jak tři bezpečnostních relé zpravidla jsou nahrazena programovatelnou jednotkou. [18] [38]

Za „vylepšené“ zástupce relé se můžou považovat **programovatelné jednotky** (bezpečnostní PL), u kterých lze volně definovat řídicí logiku funkce vstupu a výstupu dle konkrétního stroje (viz obr. 17). Programování lze provádět za pomoci počítače, tabletu či notebooku, což je uživatelsky přívětivé (software je součástí vybavení). Programovatelné jednotky se liší svými vlastnostmi podle prodejce – mění se počty vstupů/výstupů a počet monitorovaných prvků. Dnes už je možné tyto řídicí jednotky využívat ve složitých aplikacích jako hlavní řídicí jednotku. Norma ČSN EN ISO 13849 udává podle vyhledávacího diagramu parametr PL, který je označen abecedně A-E podle závažnosti rizika (A – nejnižší riziko, E – nejvyšší riziko). [18] [38] [39]



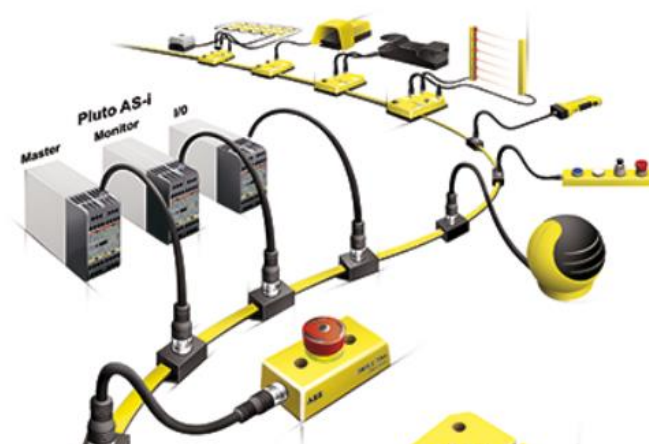
Obr. 17) a) bezpečnostní relé b) bezpečnostní PLC [40]

4.1.9 Sběrnice

Další součástí bezpečnostního systému je sběrnice. Ta zajišťuje usměrnění toku informací přes obvod do řídicích jednotek. Využívá se u složitějších robotizovaných pracovišť, kde je třeba propojit více bezpečnostních jednotek a prvků. [41]

Podle typu sběrnice je možné informace přivádět přes řídicí jednotku (klasické), nebo rovnou sběrnici napojit na bezpečnostní prvek. Příkladem je sběrnice firmy Pilz – systém Safety BUS, která využívá těchto technologií. V síti sběrnice jsou napojovány, jak jednotlivé prvky, tak řídicí jednotky libovolně podle potřeby. Možností je rozdělení jednotlivých sítí na vzájemně propojené části na bezpečnostní bázi. Tyto části jsou pak řízeny jednou centrální sběrnici, díky níž je zajištěna vyšší bezpečnost. Při zahlášení chyby na sběrnici je uvedena do klidového režimu pouze postižená část a ostatní části zůstanou v činnosti. [42]

Dalším typem sběrnice je sběrnice od firmy ABB (viz obr. 18), jejíž funkce je založena na přenosu informací přes žlutý kabel, na který jsou napojeny veškeré bezpečnostní prvky a řídicí jednotky. Tím se zjednoduší a urychlí proces zapojování. Každému prvku připojenému ke kabelu/sběrnici připadá jedna adresa s bezpečnostním kódem. U rozsáhlejších robotických buněk nebo u většího počtu buněk je možnost sběrnici rozdělit na více sektorů na sobě (ne)závislých. [43]



Obr. 18) Sběrnice AS-i safety [43]

5 TRENDY

Cílem vývojových trendů robotizovaných pracovišť je především zvýšení bezpečnosti, snížení energetické náročnosti a navýšení flexibility robota. Dalším důležitým cílem je snížit složitost bezpečnostních obvodů spojených vysokým počtem kabelů. Bezpečnostní prvky se nahrazují senzory a kamerami detekující pohyb, kde není třeba složitých montáží řídicích jednotek, ale pouze propojení s programem na počítači. Mění se také pohled na společnou práci lidí a robotů, což je možné pozorovat na rozvoji kolaborativní robotiky.

Jako příklady bezpečnostních trendů jsou uvedeny systémy, které fungují na principu radaru jako LBK systém, nebo bezpečnostní systémy s možností snímání okolí robota přes snímací kameru – SafetyEYE. S těmito systémy se v dnešní době lze shledat na trhu. Dalším novým systémem je SafeMove s možností zobrazení 3D modelu robota a jeho prostoru. Možností monitorovat, jak prostor v okolí robota, tak celé buňky se zabývají projekty ViERforES a Sim4Save. Z odvětví kolaborativní robotiky je možné zaznamenat rozvoj kamerových systémů, snímačů zabudovaných v robota a změnu materiálu, který pokrývá jeho ramena.

Domněnky a cíle zde zmíněné vyplývají z velkého množství nastudovaných informací z různých zdrojů.

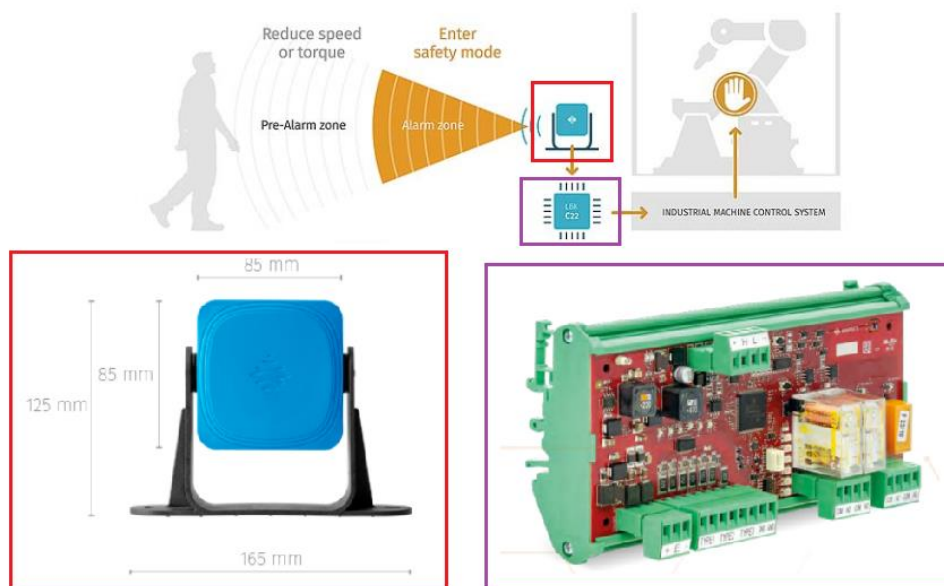
5.1 LBK systém

Za budoucího nástupce laserových skenerů či světelných závor lze považovat LBK systém. Díky jeho rozměrům je možné umístit jej na špatně dostupná místa nebo tam, kde není možné využít jiné bezpečnostní systémy. [44]

LBK systém se skládá ze dvou částí a to LBK-C22 kontrolní (řídicí) jednotka LBK-S01 inteligentního snímače (viz obr. 19). [44]

Snímač na rozdíl od klasických laserových skenerů, které fungují na principu vysílání paprsků a snímání prostředí, je založen na technologii radaru (pokročilý algoritmus zpracování signálů). Pokud se obsluha dostane do nebezpečného prostoru, je tato technologie schopná v reálném čase vypočítat její vzdálenost a adekvátně reagovat. Velkou výhodou je díky rozpoznávání signálů omezení nechtěného zastavení nebo omezení stroje či robota například kouřem, vodou, prachem, odpadu z technologických procesů a dalším. S tím souvisí i zvýšení produktivity bez ohrožení bezpečnosti. Z informací uvedených prodejcem je dosah od 1,2 do 5 metrů na délku a na šířku 1,2 až 15 metrů vzhledem k počtu zapojených LBK-S01 snímačů. [44] [45]

Druhou částí je kontrolní (řídicí) jednotka, které slouží k monitorování a kontrole snímačů. S její pomocí jich lze monitorovat až šest. Bezpečnostní výstupy reagují na snímače a dle naprogramování omezují pohyby robota nebo jeho zastavení. [44]



Obr. 19) LBK systém (LBK-C22 – fialová, LBK-S01 – červená) [44] [45]

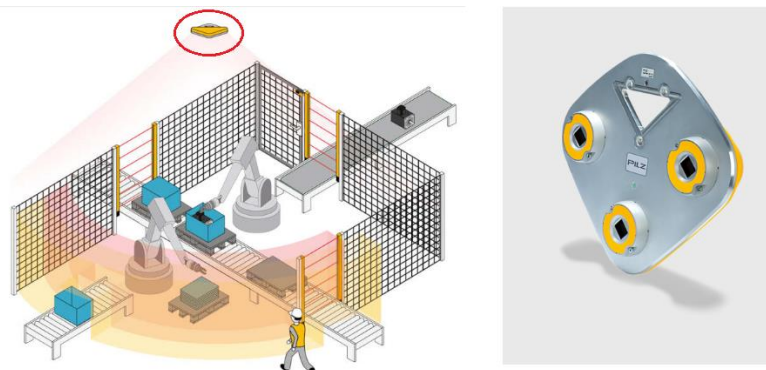
5.2 Bezpečnostní systém SafetyEYE

Tento bezpečnostní systém firmy PILZ (viz obr. 20) je první kamerový systém s možností sledování 3D prostoru. Vhodný pro rozsáhlé a složité průmyslové aplikace. Dá se využít jako náhrada za dosavadní bezpečnostní systémy, ale je možnost jej s nimi kombinovat. SafetyEYE je založen na kombinaci snímačů s jednoduchým ovládáním. Složité aplikace lze řídit jedním systémem díky přívětivému software. [46]

Umísťuje se nad pracovním prostorem. Jednak je schopen monitorovat celý prostor, ve kterém se robot vyskytuje a dále je schopen detekovat a reagovat na podněty vyskytující se v něm. Snímaný prostor lze rozdělit na různé zóny vzhledem k potřebě obsluhy. Například v blízkém okolí robotu může být při vstupu nepovolané osoby či obsluhy nařízeno okamžité zastavení. S rostoucí vzdáleností jsou požadavky na bezpečnost nižší, tudíž při vstupu do vzdálenější zóny je možnost robota pouze zpomalit. Reakce systému a jednotlivé zóny si definuje uživatel sám. [46] [47]

Snímací zařízení zajišťující sledování pohybů kontrolovaného prostoru jsou obsažena ve třech kamerách (viz obr. 20). Kamery netřeba kalibrovat.

Ovládání je zprostředkováno řídicí jednotkou rozdělenou na analytickou jednotku a programovatelný bezpečnostní systém. Vše je řízeno obsluhou pomocí počítače. Analytická jednotka zajišťuje přijímání a zpracovávání snímaných dat a dochází ke generaci signálů, které rozpoznává a vyhodnocuje bezpečnostní systém. Po vyhodnocení regulátor vypíná daný stroj. [46]



Obr. 20) SafetyEYE [46]

5.3 SafeMove

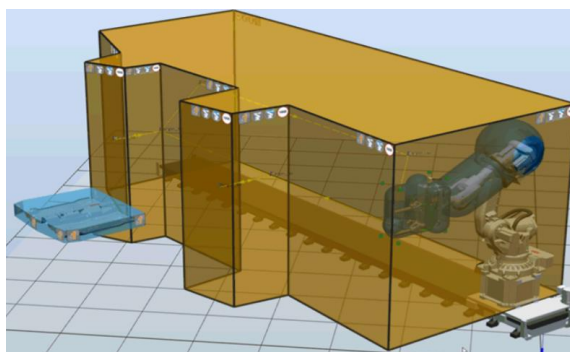
Firma ABB se také podílí na inovacích v bezpečné spolupráci robotů a lidí. Pomocí programu RobotStudio (viz obr. 21) jsou aplikace robota naprogramovány a konfigurovány. V programu lze libovolně pracovat s prostorem, ve kterém se robot vyskytuje a namodelovat nejvhodnější rozmezí jeho pohybu. SafeMove je přímo naprogramován tak, aby dodržoval vzdálenost určenou programátorem. Díky simulaci, je možné zkontrolovat správnost nastavení. [48]

V případě potřeby častého vstupu obsluhy do prostoru je možné zavedení bezpečnostních snímačů kontrolujících rychlost robota nebo jeho nečinnost. Ve chvíli, kdy osoba opouští zónu, robot se dostává do původní rychlosti. Cílem je dosáhnout vyšší produktivity díky nižším prodlevám. [49]

Systém SafeMove má možnost využívat různé funkce: [48]

- Funkce **Safe Zones** zjednodušující ochranu zařízení a ochranu osob umožňuje optimalizace velikosti buněk a zefektivňuje provoz.
- **Safe Axis Ranges** snižuje náročnost údržby, zvyšuje kontrolu a flexibilitu a je náhradou za elektromechanické koncové spínače.
- **Safe Robot Speed** slouží na kontrolu rychlosti robota v určité nadefinované úrovni pro bezpečnou práci obsluhy v jeho blízkosti.
- **Safe Standstill** je funkce dohlížející na prostoj os robota bez vypínání motorů. Zajišťuje obsluhu bezpečnou práci v bezprostřední blízkosti s robotem.
- Funkce **Cyclic brake check** zajišťuje dohled nad pravidelným kontrolováním brzd.

Výhodou je možnost užití nebezpečných aplikací jako například rentgenová kontrola nebo řezání laserem. [48]



Obr. 21) SafeMove – RoboStudio [48]

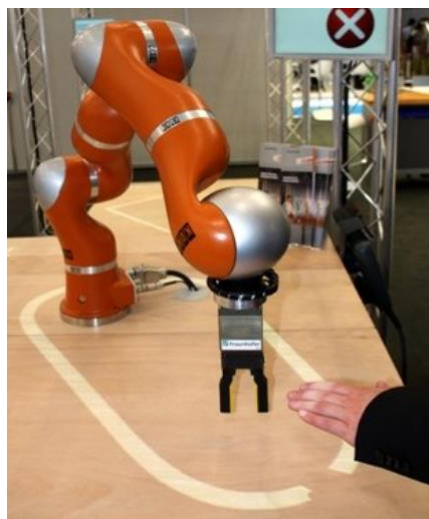
5.4 Projekty

V oblasti robotiky vznikají nové nápady a dlouholeté projekty se snahou překonat dosavadní pokroky v bezpečnostních systémech. Jedná se hlavně o senzorické systémy a jejich rozšířené schopnosti. Projekty zmíněné v podkapitolách níže byly poprvé představeny na veletrhu Automatica v roce 2012. Z dostupných zdrojů nelze určit, zda projekty pokračují nebo jsou již dokončeny.

5.4.1 ViERforES

Projekt ViERforRS z Fraunhofer Institutu IFF (viz obr. 22) vznikl z důvodů řešení celoplošné bezpečnosti. Systém je zhotoven z projektorů a kamer instalovaných na stěnách nebo stropech hal. Nebezpečné prostory jsou za pomoci projektoru vymezeny světelnými liniemi, za které je zakázán vstup. V případě překročení linie pohyb zachytí kamera, která vysílá signál ke zpomalení nebo zastavení robotu. Aby byla linie jednoznačně vidět, využívá se modulované světlo (úzký paprsek světla s malou intenzitou), jako ochrana před rušivým zářením. Pro dodatečné zvýšení bezpečnosti lze kombinovat upozornění se zvukovými či optickými signály. [50]

Na podobných principech se vyvíjejí bezpečnostní systémy robotických nebo kooperačních pracovišť.



Obr. 22) VIERforES [50]

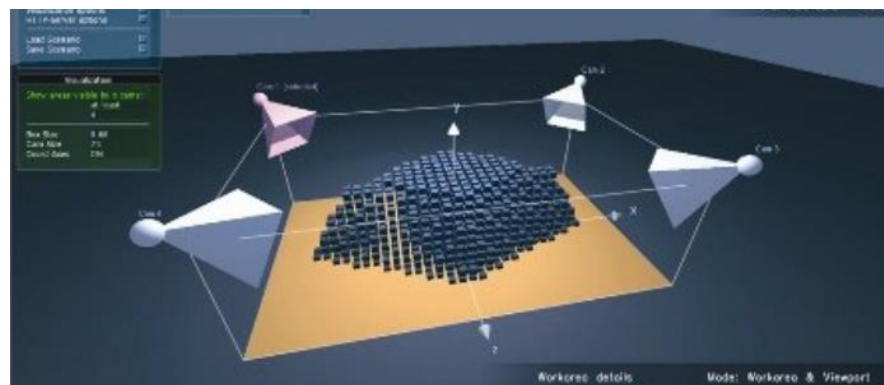
5.4.2 Sim4Save

Dalším monitorovacím systémem prostoru je Sim4Save (viz obr. 23), který je součástí projektu BildRobo z Fraunhofer Institutu IDTM. Jedná se o zcela nové chápání robotizovaného pracoviště, jehož prostor nebo prostor celé haly je sledován kamerami vhodně umístěnými tak, aby na celé rozloze nezbyla žádná slepá místa. Výhodou je kontrola haly či robotického pracoviště prostřednictvím 3D modelu. [50]

Kamery a snímače mohou být umístěny kdekoliv v hale na stěnách, stropech nebo na ramenech robota v případě blízkého kontaktu s člověkem. [51]

Dochází k monitorování celého navrženého prostoru a pohybu v něm kamerovým systémem a programem se schopností předvídat pohyb vzhledem k danému typu provozu. Pokud dojde k vniknutí do míst, kde se může vyskytovat nebezpečí, je program navržen tak, aby upozornil zaměstnance. Druh upozornění závisí na vzdálenosti od stroje (od pouhého zvukového upozornění až do zpomalení nebo úplného zastavení stroje).

Uplatňuje se v případech, kde jsou robot a člověk v bezprostřední blízkosti. [50] [51]



Obr. 23) Sim4Save – kamerový systém [50]

5.5 Kolaborativní robotika

Jako pomoc pracovníkům s monotónní prací vyžadující stále stejnou přesnost se uplatňují kolaborativní nebo také kooperační roboti. Využívají se především na svařování, lepení, míchání směsí s potřebou velké přesnosti, šroubování nebo umístování výrobků. Díky pomoci „kobotů“ mohou být zaměstnanci využíváni na kreativnější práce. [52]

Jelikož je odvětví kolaborativních robotů velmi rozvojové téma, byla třeba doplnit legislativu bezpečností vzhledem k těmto robotům. V roce 2016 vznikl dodatek k normě ISO 10218 „Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů“, ISO/TS 15066. Dokument specifikuje použité prvky ovlivňující bezpečnost obsluhy pracující v blízkosti robotu. Součástí je také popis implementace a daných fází návrhu, vyhodnocování a posuzování rizik. K dodatku patří prezentace výzkumné studie míry bolesti, jenž může integrátor použít dle vlastního uvážení. Konečným vyhodnocením je vhodná volba robotizovaného řešení. [53]

Kvůli bezprostřední blízkosti mezi robotem a člověkem je nutné dbát na zvýšenou bezpečnost. Na rozdíl od robotické buňky, kde je bezpečnostními prvky vybavený prostor v okolí robota, jsou bezpečnostní opatření zabudované v robotu. Aby se předešlo nebezpečné situaci, je třeba zajistit co nejvíce bezpečnostních opatření jako jsou: [54]

- Sensory, které kontrolují okolí robota a upozorňují na přiblížení obsluhy. Mohou také sloužit k orientaci ve výrobě (umístování součástek do rukou lidské obsluhy).
- Sensory rychlostní a momentové slouží ke kontrole síly působící skrze paži robota na lidskou obsluhu. K zastavení robota dochází v případě překročení nastavené hranice.
- „Koboti“, na rozdíl od klasických robotů, mají sníženou rychlost ramene. Menší rychlost umožňuje rychlejší zastavení.
- Zaoblené ostrých hran pro rozložení tlaku na větší plochu, dochází ke snížení intenzity nárazu.
- Pryžový obal reagující na dotyk se zabudovaným velkoplošným kapacitním senzorem. Začíná reagovat už na přiblížení – nutné před dotykem snížit rychlost podle normy. [54]

Mezi další bezpečnostní opatření spadá nové řešení bezpečnostních senzorů, které kontrolují jednotlivé části prostoru. Pomocí kamerového systému je možné rozeznat budoucí pohyby obsluhy a pokud dojde k překročení bezpečné vzdálenosti, rychlost robotu se sníží nebo klesne na nulu. [50]

K vývoji se dostávají inteligentní kamery s možností zpracovávání obrazových dat, jak ve 2D, tak ve 3D. Snímání ve třech dimenzích, do níž spadá metoda sekvence periodických proužků, funguje na projektování proužků na prostorovém objektu, vzory pak snímá digitální kamera. Konečná 3D informace se získává na základě změn ve struktuře vzoru pomocí geometrické triangulace. [50]

5.5.1 Robot sawyer

Zvláštním druhem kobota, který využívá pouze vizuální vzhled k dosažení vyšší bezpečnosti, je robot Sawyer. Jedná se o jednoramenného kolaborativního robota navrženého na provádění prací s vysokou přesností, flexibilitou a obratností jako je obsluha strojů. Tento vysoce adaptabilní robot je vybaven LCD displejem, kde jsou zobrazeny animované oči signalizující jeho budoucí pohyb (viz obr. 24). Oči se pohybují po displeji směrem, kterým se bude vzápětí pohybovat rameno robotu. Slouží pouze k upozornění nikoliv ke snímání pracovního prostoru. To je zajištěno pomocí snímačů nad displejem a na rameně robotu. Obsluha se díky animovaným očím cítí bezpečněji, protože už dopředu ví, kam se bude rameno pohybovat. Cílem firmy bylo vyvinout robot, který se co nejvíce přiblíží „chování“ člověka a tím zpříjemní spolupráci zaměstnanců a strojů. [55] [56]



Obr. 24) Robot Sawyer [57]

5.5.2 Dual Check Safety

V neposlední řadě je zde bezpečnostní systém firmy FANUC, který se zabývá společnou prací lidí a robotů.

Už dříve zde byly zmíněny systémy se senzorikou prostoru. V okolí robota se vyskytuje pomyslné pole, které chrání obsluhu a zaměstnance. Při vstupu zaměstnance do pole je podle vzdálenosti od robotu specifikována jeho reakce. Pokud je obsluha ve vzdálenějším bodě robot zpomalí, při kontaktu obsluhy s pracovní plochou robotu dochází k okamžitému zastavení. Po odchodu obsluhy či zaměstnance dochází ke znovuoobnovení rychlosti a robot pokračuje tam, kde byl přerušen. Tato funkce se uplatňuje v případě výměny výrobků nebo materiálů. Dochází tak k zefektivňování pracovního procesu a snížení času pro výměnu. [58]

Zvýšení bezpečnosti v této oblasti by mohla být změna materiálu, kterým je robot pokryt. Tímto problémem se zabývá jeden z dalších projektů.

5.5.3 Robot s umělou kůží

V problematice kolaboračních robotů se světelné senzory nahrazují senzory reagující na tlak s citlivostí podobající se lidské kůži a schopností rozpoznat sílu doteku (viz obr. 25). Kůže je vyrobena ze sítě silně citlivých taktilních senzorů, které jsou vloženy do měkkých případně vodivých pěnových materiálů. Uvnitř materiálu je zabudovaná elektronika vyhodnocující situaci, jenž pak předává informaci do řídicího počítače nebo řídicího centra. Umělou kůží se pokrývají části robotu nebo prostor v jeho blízkosti, například rameno, stojan, podlaha pod robotem (podobné nášlapným rohožím). [50]

Pro zdokonalení systému se využívá termokamera, která sbírá informace sledováním akčního prostoru. Tato kamera se nachází na rameni robotu. [50]

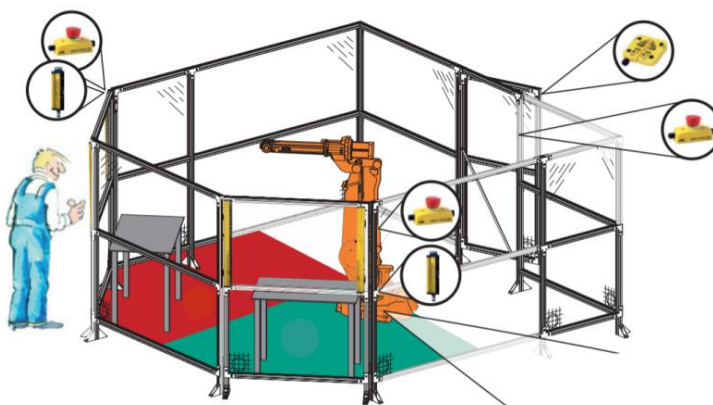


Obr. 25) Robot s umělou kůží [50]

6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Veškeré komponenty jako jsou bezpečnostní prvky či bezpečnostní jednotky se v praxi navzájem kombinují do celků různých velikostí a pro různé potřeby. Záleží na dané technologii robotu, pracovním prostoru a dalších důležitých aspektech z důvodu zajištění vysokého stupně bezpečnosti vzhledem k daným potřebám. Bezpečnostní systémy jsou dostupné buď jako dílčí komponenty nebo jsou k dostání jako celek přímo na daný typ robotu. Příkladem může být firma ABB, která se zabývá jednak konstrukcí robotů, tak i řešením jejich bezpečnosti. V praxi je nesčetné množství způsobů zapojení dílčích komponent do prostoru v okolí robotu. Pro maximální bezpečnost musí být celý prostor zajištěn tak, aby nebylo možné nechtěné vniknutí lidské obsluhy do nebezpečné oblasti. Příkladem dosavadního řešení bezpečnosti je robotická buňka (viz obr. 26), kde je robot ohraničen mechanickým oplocením vybaveným zámky, světelnými závorami, ovládacím zařízením robotu a ovladači nouzového zastavení, podle potřeby je možné přidání dalších bezpečnostních prvků.

Cílem je nahradit velké množství bezpečnostních komponent prostorově méně výraznými prvky – kamerovými systémy či jinými snímači. Důvodem je zmenšení nákladu z hlediska ušetření prostoru, kabeláže apod., ale také zvýšení stupně bezpečnosti. Z možností, které byly z daných zdrojů dohledatelné, se lze domnívat, že snahou je v budoucnu řešit výrobu v halách a bezpečnost s nimi spojenou, za pomoci kamerových systémů, mikrofónů a snímačů. Tudiž pracovní prostor haly bude využit takřka maximálním způsobem, lidská obsluha a robot budou spolupracovat v bezprostřední blízkosti, díky kamerám bude neustále kontrolováno dění v prostorech a nebude třeba zajišťovat další dílčí bezpečnostní systémy. [51]



Obr. 26) Robotická buňka [59]

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla rešeršní formou shrnuta problematika bezpečnosti robotizovaných pracovišť a jejich další rozvoj. Bezpečnost na pracovištích je velmi aktuální téma, proto je velké množství firem, které se touto problematikou zabývá. Nové bezpečnostní systémy jsou k dostání, nebo ve vývoji a mají za úkol ulehčovat práci zaměstnancům pracujících v blízkosti robotů. Cílem práce bylo shrnout současnou legislativu, normy k tomu potřebné, současné bezpečnostní systémy a jejich prvky, vyhledat vývojové trendy bezpečnostních systémů a následně zhodnotit vyhledané informace.

Začátek práce byl věnován evropské legislativě, kde byly shrnuty požadavky na konstrukci, správnou montáž a další. Byly zde vyjmenovány některé z norem, které mají napomáhat konstruktérovi při montáži, informovat ho o problémech, které se mohou vyskytovat, jak jim předcházet a správně řešit. V další části bylo naznačeno rozdělení robotizovaných pracovišť podle typu použité technologie a podle velikosti daného prostoru s možností zapojení bezpečnostních obvodů. Dalším bodem byla již daná problematika bezpečnostních systémů, kde byly vyjmenovány a popsány bezpečnostní prvky a řídicí jednotky potřebné k zajištění bezpečnosti okolí robotu. Tyto bezpečnostní systémy lze kombinovat podle potřeby, ale častěji se dá nalézt optimální řešení sestavené danou firmou na konkrétní robotizované pracoviště.

U vývojových trendů tato práce poukazuje na snahu zvyšovat bezpečnost i s rostoucí výrobou, a naopak snižovat náklady a zmenšovat pracovní prostor mezi robotem a zaměstnancem. Problém řeší náhrada klasických bezpečnostních prvků za snímače a kamerové systémy, které dokáží kontrolovat větší prostor najednou. O další inovace se v poslední době snaží odvětví kolaborativní robotiky, kde je zmínka o jiném pojetí bezpečnosti vzhledem k dosavadním bezpečnostním prvkům u průmyslových robotů. Nejsou zde jen snímací systémy, ale jedná se o vizuální i o designové prvky na robotu, které napomáhají kontrolovat okolí robotu a obsluhy.

Oproti klasickým bezpečnostním systémům, které zajišťují zastavení robotu a po znovuoobnovení pracovní činnosti je třeba restart, jsou trendy v tomto ohledu šetrnější. Při zastavení robotu kvůli vzniklému ohrožení se po odstranění nebezpečí robot rozběhne v místě, kde s prací přestal.

Některé informace uvedené v této práci byly získány na Strojírenském veletrhu a veletrhu Ampér prostřednictvím odborníků z konkrétních firem, kteří se touto problematikou zabývají.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JAVŮREK, Karel. Zákony robotiky: když i bohové mají strach. *VTM* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/aktuality/zakony-robotiky-kdyz-i-bohove-maji-strach>
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk, Petr BLECHA, Radek KNOFLÍČEK et al. *ROBOTY A ROBOTIZOVANÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů - 1. díl - úvod, normy, posouzení rizika. *Automatizace.HW.cz: Elektronika v automatizaci* [online]. HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-1-dil-normy-rizika.html>
- [4] ČSN EN ISO 12100 (833001): Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. *Internetová prodejna norem* [online]. 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/88295>
- [5] ČSN EN ISO 13849-1 (833205): Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci. *Internetová prodejna norem* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/501728>
- [6] ČSN EN ISO 10218-1 (186502): Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty. *Internetová prodejna norem* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/89961>
- [7] ČSN EN ISO 10218-2 (186502): Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace. *Internetová prodejna norem* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/89828>
- [8] ČSN EN ISO 14120 (833302): Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů. *Internetová prodejna norem* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/501530>
- [9] KUDĚLKA, Vladimír, František DOLÁK a Marek KUDĚLKA. BEZPEČNOST STROJŮ A STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ. *ATZ Asociace pracovníků tlakových zařízení* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://atz.cz/?p=710>
- [10] Robot. *ELUC* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1358>

- [11] SVOBODA, Rostislav. Proč se vyplatí investovat do manipulačních robotů?. *FactoryAutomation.cz: Časopis o automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/proc-se-vyplati-investovat-do-manipulacnich-robotu/>
- [12] Univerzální robotizované svařovací pracoviště. *TRIOM s.r.o.* [online]. TRIOM s.r.o., 2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://www.triom.cz/robotizovana-pracoviste/5__univerzalni-robotizovane-svarovaci-pracoviste
- [13] Svařovací robotické buňky. *Metallkon Group: Automatizační technologie* [online]. Litovel: Metallkon Group s.r.o., 2018 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.metallkongroup.com/produkty/svarovaci-roboticke-bunky/>
- [14] Bezpečnostní kabiny pro laserové aplikace. *Metallkon Group: Automatizační technologie* [online]. Litovel: Metallkon Group s.r.o., 2018 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.metallkongroup.com/produkty/bezpecnostni-kabiny-pro-laserove-aplikace/>
- [15] ČSN EN 12198-3 +A1 (833260): Bezpečnost strojních zařízení - Posuzování a snižování rizik vznikajících zářením emitovaným strojními zařízeními - Část 3: Snižování záření tlumením nebo stíněním. *Internetová prodejna norem* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/82525>
- [16] DUCHOSLAV, Petr. Lakovací roboty a 6 věcí, které jste o nich možná nevěděli. *FactoryAutomation.cz: Časopis o automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/lakovaci-roboty-a-6-veci-ktere-jste-o-nich-mozna-nevedeli/>
- [17] LAKOVACÍ ROBOTY: Průmyslové roboty. *Fokus industry* [online]. 2016 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://fokusindustry.cz/i/?Pr%C5%AFmyslov%C3%A9+roboty/lakovac%C3%AD+roboty>
- [18] Příručka bezpečnosti: Bezpečnost strojů – Jokab Safety & AFS Bezpečnostní stykače. *ABB Group, Přední dodavatel digitálních technologií do průmyslu* [online]. ABB s.r.o., 2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/30c5f2a7a2f940f2b667834bed40be68/Prehledovy_katalog_Jokab_Safety_2017.pdf
- [19] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnostní komunikace SamosNET. *Automatizace.HW.cz: Elektronika v automatizaci* [online]. HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty-prumyslove-sbornice-a-komunikace/bezpecnostni-komunikace-samosnet.html>
- [20] DUCHOSLAV, Petr. Bezpečnost práce s roboty? 5 věcí, které byste měli vědět. *FactoryAutomation.cz: Časopis o automatizaci a robotice* [online]. FANUC Czech s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/bezpecnost-prace-s-roboty-5-veci-ktere-byste-meli-vedet/>

- [21] KOČÍ, Miloslav. Bezpečnostní opatření používaná vně a uvnitř prostorů robotizovaných pracovišť. *BOZPPROFI.CZ* [online]. Verlag Dashöfer, 1997 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/bezpecnostni-opatreni-pouzivana-vne-a-uvnitř-prostoru-robotizovanych-pracovist-uniqueidgOke4NvrWuOKaQDKuox_Z97R_qqw6K1yebbEJLII928/
- [22] Zásady pro konstrukci nouzového zastavení. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2011 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/zasady-pro-konstrukci-nouzoveho-zastaveni>
- [23] Tlačítka pro NOUZOVÉ ZASTAVENÍ a RESET. In: *ElektroPrůmysl.cz* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/tlacitka-pro-nouzove-zastaveni-a-reset>
- [24] Normy a aktuality: Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. *Ochranné oplocení strojů* [online]. 2015 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.ochranne-oploceni.com/aktualita-iso-10218.html>
- [25] Volba typů ochranných krytů pro bezpečnost strojních zařízení. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/volba-typu-ochrannych-krytu-pro-bezpecnost-strojnich-zarizeni>
- [26] Bezpečnost oplocení stroje. In: *Modular Assembly Technology* [online]. Dalian, b.r. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://cz.modularpalletconveyor.com/machine-guarding/machine-safety-fencing.html>
- [27] Blokové systémy: Blokový systém Clo.SyS®. *Ochranné oplocení strojů* [online]. 2015 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.ochranne-oploceni.com/blokovaci-systemy.html>
- [28] Bezkontaktní bezpečnostní spínače Contrinex. *Infrasensor* [online]. Jesenice u Prahy, b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: http://www.infrasensor.cz/contrinex/bezpecnostni_spinace.html
- [29] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závorami. *Automatizace.HW.cz: Elektronika v automatizaci* [online]. Praha: HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- [30] Vícepaprskové bezpečnostní světelné mříže. *SICK* [online]. SICK AG, 2019 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/vicepaprskove-bezpecnostni-svetelne-mrize/c/g187272>
- [31] Muting. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Muting>
- [32] OEM AUTOMATIC: Bezpečností prvky. *OEM Automatic* [online]. Zdíby, 2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: http://www.oem.se/aut/oem_aut/oem_aut_cz/pdfs/katalog_bezpecnostnich_prvku.pdf

- [33] Bezpečnostní systémy: Bezpečnostní laserový skener PHARO. *REM* [online]. Brno: REM-Technik s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/skenery/bezpecnostni-laserovy-skener-pharo-787.html>
- [34] Bezpečnostní laserový skener PSENscan: Produktivní monitorování ploch - i v sérii!. *Pilz- bezpečná automatika, automatizační technika* [online]. © Pilz GmbH & Co. KG, b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.pilz.com/download/open/Leaf_Safety_Laser_Scanner_PSENscan_1004504-ENU-02.pdf
- [35] BEZPEČNOSTNÍ PRVKY SICK. In: *SKPA Automation s.r.o.* [online]. Bojetice, b.r. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.skpa.cz/>
- [36] BEZPEČNOSTNÍ NÁŠLAPNÉ ROHOŽE. *Elektrotechnický veľkoobchod AXIMA* [online]. Dubnica nad Váhom, b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.sk/admin-data/storage/get/84-manualcz.pdf>
- [37] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnostní ovladače ABB Jokab Safety - Safeball, JSHD4 a Fox. *Automatizace.HW.cz: Elektronika v automatizaci* [online]. Praha: HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnostni-ovladace-abb-jokab-safety-safeball-jshd4-a-fox.html>
- [38] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnostní PLC programované bez PC = Sick Flexi Classic. *Automatizace.HW.cz: Elektronika v automatizaci* [online]. Praha: HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/plc-a-prumyslova-pc-bezpecnost-stroju-komponenty/bezpecnostni-plc-programovane-bez-pc-sick-flexi-classic.html>
- [39] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů - 2. díl - PL vs. SIL. *Automatizace.HW.cz* [online]. Praha: HW server s.r.o., 1997 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-2-dil-pl-vs-sil.html>
- [40] Bezpečnostní relé a PLC. In: *Euchner* [online]. 2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-rele/>
- [41] JANČÍK, David. Sběrnice. *Itnetwork.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tvy-sbernice>.
- [42] HRUBÝ, Pavel. Safety BUS p – bezpečnostní sběrnice firmy Pilz. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* [online]. Děčín, 2016, (03), 1 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/safety-bus-p-bezpecnostni-sbernice-firmy-pilz-2002_03_28376_1733/
- [43] AS-i Safety. *ABB Group - Leading digital technologies for industry* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy/as-i-safety>
- [44] LBK System Next generation of industrial safety. *INXPECT* [online]. Brescia: Inxpect S.p.A., 2016 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://inxpect.com/industrial/products>

- [45] LBKSystem: The first safety barrier that works where optical sensors stop. *Tipteh d.o.o.* [online]. 2018 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: https://www.tipteh.si/wp-content/uploads/2018/12/LBK-System_overview_en.pdf?x71980
- [46] Safe camera system SafetyEYE. *Pilz- bezpečná automatika, automatizační technika* [online]. Ostfildern: © Pilz GmbH & Co. KG, b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/en-INT/eshop/00106002207042/SafetyEYE-Safe-camera-system>
- [47] SafetyEYE – zcela nový rozměr bezpečné automatizace. *Etm: Elektrotechnika online* [online]. Vraňany, 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/etm/110-safetyeye-zcela-novy-rozmer-bezpecne-automatizace>
- [48] SafeMove2 Přehled produktu. *ABB Group - Leading digital technologies for industry* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106930A4207&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [49] SafeMove2 Ochrana obsluhy a zvyšování bezpečnosti robotů. *ABB Group - Leading digital technologies for industry* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106930A4199&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [50] ŠMÍD, Jiří. Postřehy z veletrhu Automatica. *MM spektrum* [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., 2019, (7) [cit. 2019-04-16]. DOI: 120702. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/postrehy-z-veletrhu-automatica.html>
- [51] RAUHUT, Felix. Sicher arbeiten mit Kollege Roboter: Monitoring-Plattform schützt vor Gefahrensituationen. *InnoVisions* [online]. b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.fraunhofer-innovisions.de/mobile/beitraege/sicher-arbeiten-mit-kollege-roboter/>
- [52] DUCHOSLAV, Petr. Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět. *FactoryAutomation.cz: Časopis o automatizaci a robotice* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktete-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [53] Nové bezpečnostní normy znamenají nové příležitosti. *Control Engineering Česko* [online]. Český Těšín: Trade Media International s. r. o., 2007 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/nove-bezpecnostni-normy-znamenaji-nove-prilezitosti/>
- [54] VACULÍKOVÁ, Eva. Robot nebo kobot? V čem se liší?. *Talentica.cz: Specialisté na nábor technicky zaměřených odborníků* [online]. Praha, 2009 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>

- [55] ANANDANOVA, Tanya. Bezpečná spolupráce robotů a lidí. *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. Český Těšín, 2007 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=7388&cHash=c09613af6e&type=98](http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=7388&cHash=c09613af6e&type=98)
- [56] Přichází robot Sawyer, jednoramenný pomocník. *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prichazi-robot-sawyer-jednoramenny-pomocnik_31197.html
- [57] RETHINK SAWYER ROBOT. In: *King's College London: Faculty of natural and mathematical sciences* [online]. Londýn, 2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://nms.kcl.ac.uk/rll/equipment/index.html>
- [58] Dual Check Safety (DCS) Explained. *MCRI - Certified Robotics System Integrator* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://motioncontrolsrobotics.com/dual-check-safety-dcs-explained/>
- [59] BROŽ, Přemysl. Bezpečnostní prvky ABB Jokab Safety. In: *ABB Group, Přední dodavatel digitálních technologií do průmyslu* [online]. ABB s.r.o., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/13d0d181f5cba264c125792f003e7334/Jokab%20Safety.pdf>

9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Seznam obrázků

OBR. 1) POSTUP POSOUZENÍ RIZIKA [2]	22
OBR. 2) SCHÉMA ZAPOJENÍ 1	24
OBR. 3) SCHÉMA ZAPOJENÍ 2	24
OBR. 4) SCHÉMA ZAPOJENÍ 3	24
OBR. 5) SCHÉMA ZAPOJENÍ 4: BEZPEČNOSTNÍ ZAPOJENÍ LINKY	25
OBR. 6) ROZDĚLENÍ BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ	27
OBR. 7) OVLADAČE NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ [23]	28
OBR. 8) OCHRANNÉ OPLOCENÍ [26]	29
OBR. 9) MECHANICKÝ ZÁMEK [27]	30
OBR. 10) BEZKONTAKTNÍ BEZPEČNOSTNÍ SNÍMAČ [28]	30
OBR. 11) KATEGORIE BEZPEČNOSTNÍCH SVĚTELNÝCH ZÁVOR [18]	31
OBR. 12) A) PŘÍSTUPOVÁ KONTROLA; B) MUTING S DVĚMA ZKŘÍŽENÝMI PAPERKY; C) MUTING SE ČTYŘMI PARALELNÍMI PAPERKY [32]	31
OBR. 13) APLIKACE SKENERU [34]	32
OBR. 14) LASEROVÉ SKENERY ZNAČKY SICK [35]	32
OBR. 15) NÁŠLAPNÝ MŮSTEK [36]	33
OBR. 16) BEZPEČNOSTNÍ OVLÁDACÍ ZAŘÍZENÍ JEDNORUČNÍ, OBOURUČNÍ [37]	34
OBR. 17) A) BEZPEČNOSTNÍ RELÉ B) BEZPEČNOSTNÍ PLC [40]	34
OBR. 18) SBĚRNICE AS-I SAFETY [43]	35
OBR. 19) LBK SYSTÉM [44] [45]	38
OBR. 20) SAFETYEYE [46]	39
OBR. 21) SAFEMOVE – ROBOSTUDIO [48]	39
OBR. 22) VIERFORES [50]	40
OBR. 23) SIM4SAVE [50]	41
OBR. 24) ROBOT SAWYER [57]	42
OBR. 25) ROBOT S UMĚLOU KŮŽÍ [50]	43
OBR. 26) ROBOTICKÁ BUŇKA	45

9.2 Seznam zkratk

značka	jednotka	veličina
S	[mm]	Nejmenší bezpečná vzdálenost
K	[mm/s]	Přístupová rychlost lidského těla
T	[s]	Čas zastavení celého systému zařízení
C	[mm]	Dodateční vzdálenost daná rozlišením světelného ochranného zařízení a dalších okolností

10 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA.....	59
--------------	----

PŘÍLOHA

Světové normy

Základními světovými normami jsou IEC (International Electrotechnical Commission, světová organizace vytvářející a vydávající normy pro elektrotechnologie) a ISO (International Organization for Standardization, mezinárodní organizace pro standardizaci), které si dané státy převzaly a upravily podle vlastních potřeb. Zde jsou uvedené některé ze států, které převzaly světové normy. [1]

Spojené státy americké

Occupational Safety and Health Act „Zákon o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci“ spadá pod Occupational Safety and Health Administration (OSHA), což je organizace starající se o bezpečnost zaměstnanců. Normy jsou označovány zkratkou CFR. [1]

Tab. 1) označení norem USA

označení	název	český název
29 CFR 1910.147	The Control of Hazardous Energy	Řízení nebezpečné energie
29 CFR 1910.211	Definitions	Definice
29 CFR 1910 Subpart O	Machinery and Machine Guarding	Stroje a ochrana strojů
29 CFR 1910.212	General Requirements for all machines	Všeobecné požadavky na stroje
29 CFR 1910 Subpart S	Electrical	
29 CFR 1910.303	General Requirements	Obecné požadavky

American National Standards Institute „Americký národní standardizační institut“ (ANSI) je nezisková organizace zprostředkávající průmyslové standardy. [1]

Tab. 2) označení norem USA

označení	název	český název
ANSI B11.20	Manufacturing system/cell	Výrobní systémy/buňky
ANSI B11-TR3-2000	Risk assessment and Risk Reduction	Posouzení rizik a snižování rizik

Mezi další americké instituce patří National Fire Protection Association (NFPA) „národní asociace požární ochrany“, ke které spadá norma NFPA 79, ta odpovídá evropské normě EN 60204 „Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky“. [1]

Japonsko

Japonské normy jsou často převzaté ze základních evropských norem (například EN 292, EN 954, EN 1050). Pro přehlednost jsou tyto normy děleny na různé skupiny, jež jsou značeny písmeny za označením JIS. Další shodou s evropskými normami je rozdělení norem samotných na A, B a C. [1]

Tab. 3) označení japonských norem

japonský ekvivalent	český ekvivalent	název
JIS B 9700-1:2004	EN 12100-1:2003	Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design - Part 1,2
JIS B 9700-2:2003	EN 12100-2:2003	Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design - Part 1,2
JIS B 9704-1:2000	-	Safety of machinery - Electro sensitive protective equipment - Part 1: General equipments and tests
JIS B 9705-1:2000	ISO 13849-1:1999	Safety of machinery - Safety related parts of control systems - Part 1: general principles for design
JIS B 9960-1:1999	EN 60204-1	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General Equipments
JIS B 9716:2006	ISO 14120:2002	Safety of machinery - Positioning of protective equipments with respect to the approach speeds of parts of the human body
JIS B 9715:2006	ISO 13855:2002	Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards

Rusko

Z důvodu vzájemné spolupráce České republiky a Ruska (dovoz, a hlavně odvoz strojírenských výrobků z ČR) musí být u všech výrobků odvážených z EU splněna shodnost s ruskou legislativou na strojní zařízení. To je důvodem podobnosti Ruských norem a norem EU. Jako národním systémem certifikace pro zajištění bezpečnosti a kvality byl zaveden systém GOST R (GOST „národní standard“ R „Rusko“). Obměny mohou být pro harmonizované normy GOST R ISO (ISO – mezinárodní normy) nebo také GOST R MEK (Mezinárodní elektrotechnická komise IEC). [2]

Tab. 4) označení ruských norem

ruský ekvivalent	český ekvivalent	český název
GOST R ISO 12100-1-2007	ČSN EN ISO 12100:2011	Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika
GOST R ISO 12100-2-2007		
GOST ISO 13855-2006	ČSN EN ISO 13855:2010	Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přibližování částí lidského těla
STB ISO 13849-1-2005	ČSN EN ISO 13849-1:2007	Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci

ruský ekvivalent	český ekvivalent	český název
STB EN 12198-1-2003	ČSN EN 12198-1 + A1:2009	Bezpečnost strojních zařízení - Posuzování a snižování rizik vznikajících zářením emitovaným strojnými zařízeními - Část 1: Všeobecné zásady

Značení technických norem dalších států [3]

Spojené království – BS (British Standards)

Německo – DIN (Deutsches Institut für Normung)

Čína – GB čínské technické normy

- Ty jsou vydávány Čínským standardizačním správním úřadem SAC. Uplatňují se v celé Číně a jsou upravovány nebo převzaty z norem mezinárodních, mohou se však i lišit.

Nizozemsko - NEN (Nederlandse Norm)

- NEN neboli Nizozemský standardizační institut je soukromá, nezisková organizace

Slovensko – STN (Slovenské technické normy)

Španělsko – UNE (Španělské národní normy)

Veškeré zde zmíněné normy byly vybrány na základě norem evropských, zmíněných v bakalářské práci, jsou tedy pouze informativní.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] [EUCHNER]. *Safety Book: An Introduction to Safety Engineering*. Leinfelden-Echterdingen: EUCHNER GmbH +Co., 2003. ISBN 978-3-92-558942-3.

[2] ISKANDIROVA, Maria; BLECHA, Petr. Srovnání požadavků EU a Ruské federace na bezpečnost strojních zařízení *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2013, roč. 6, č. 2. [cit. 2019-05-4]. Dostupné z :<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-02-2013/bezpecnost-stroje-rusko-euII.html>. ISSN 1803-3687.

[3] Nové technické normy. *NORMSERVIS s.r.o.: Technické normy a publikace z celého světa* [online]. ©1990 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.normservis.cz/normalizace/nove-technicke-normy/>